

KORELASI KOMPOSISI UNSUR TERHADAP SIFAT TERMAL SERBUK BAHAN BAKAR U-ZrH_x

Masrukan K, M Husna Alhasa, Yanlinastuti

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

e-mail: masrukan2006@yahoo.com

(Naskah diterima : 19-04-2016, Naskah direvisi: 16-05-2016, Naskah disetujui: 23-05-2016)

ABSTRAK

KORELASI KOMPOSISI UNSUR TERHADAP SIFAT TERMAL SERBUK BAHAN BAKAR U-ZrH_x. Telah dilakukan analisis untuk menentukan korelasi komposisi terhadap sifat termal pada serbuk bahan bakar U-ZrH_x. Serbuk U-ZrH_x dibuat dari proses hidriding ingot U-Zr, dimana ingot U-Zr merupakan hasil peleburan logam U dan Zr. Dalam percobaan ini dibuat tiga variasi serbuk yaitu U-35ZrH_x, U-45ZrH_x, dan U-55ZrH_x. Perlunya dilakukan penentuan kadar Zr terhadap sifat termal adalah untuk mengetahui pengaruh kadar Zr terhadap sifat transformasi panas dari bahan bakar tersebut. Mula –mula dilebur logam U dan Zr didalam tungku peleburan busur listrik hingga menghasilkan ingot U-Zr. Ingot U-Zr selanjutnya dibuat serbuk dengan teknik hidridring-milling hingga menghasilkan serbuk U-Zr. Serbuk U-Zr dianalisis komposisi dengan menggunakan teknik sepektroskopi serapan atom (SAA) dan sepektroskopi UV-Vis. Hasil analisis komposisi menunjukkan bahwa pada analisis untuk menentukan kandungan U dan Zr hampir semua sampel uji yang dianalisis mempunyai perbedaan yang cukup besar antara kandungan U dan Zr yang ditentukan dengan hasil analisis U dan Zr terkecuali hasil analisis pada serbuk U-45Zr yang hanya berbeda 0,609 %. Dari hasil pengujian unsur pengotor diperoleh bahwa semua unsur pengotor yang ada masih memenuhi persyaratan untuk bahan. Pengujian kapasitas panas yang dilakukan pada rentang temperatur 35°C hingga 437°C memperlihatkan bahwa nilai kapasitas yang paling besar adalah serbuk U-35ZrH_x dengan nilai kapasitas panas sebesar 0,13 J/g.°C. Sementara itu dari pengujian transisi perubahan fasa diperoleh bahwa pada U-45ZrH_x mengalami dua tahapan reaksi disertai perubahan fasa. Dapat disimpulkan apabila dilihat dari kandungan U dan Zr belum bisa digunakan untuk bahan bakar, sedangkan dari analisis kandungan unsur pengotor diperoleh bahwa semua unsur yang ada masih memenuhi persyaratan untuk bahan bakar kecuali unsur Fe. Sementara itu hasil analisis sifat termal yaitu kapasitas panas diperoleh nilai kapasitas panas tertinggi pada serbuk U-35ZrH_x, sedangkan dari pengujian transisi perubahan fasa diperoleh bahwa pada U-45ZrH_x mengalami dua tahapan reaksi disertai perubahan fasa. Terdapat pengaruh komposisi terhadap sifat termalnya, dimana semakin tinggi kandungan Zr maka nilai kapaistas panas hidrida uranium zirkonium semakin rendah.

Kata kunci: komposisi, sifat termal, bahan bakar, U-ZrH_x.

ABSTRACT

COMPOSITION CORRECTION ON THE THERMAL PROPERTIES OF U-ZrH_x FUEL POWDERS. Analysis has been conducted to determine the composition correlation on the thermal properties of the powder fuel U-ZrH_x. U-ZrH_x powder made from the process hidriding U-Zr ingot, where the ingot is the result of U-Zr and Zr U metal melting. In this experiment made three variations of powders, namely U-35ZrH_x, U-45ZrH_x, and U-55ZrH_x. Need for determination of the thermal properties of Zr was to determine the effect of the nature of the transformation of Zr levels of heat from the fuel. At first, U and Zr metal is melted in electric arc furnaces to produce ingot U-Zr. U-Zr ingot then made powder with hidriding-milling techniques to produce U-Zr powder. U-Zr powder composition analyzed using techniques sepectroscopy atomic absorption (AAS) and UV-Vis spectroscopy. The results of composition analysis showed that the analysis to determine the content of U and Zr nearly all the test samples analyzed have quite a big difference between the content of U and Zr as determined by the results of the analysis of U and Zr exception analysis result in powder U-45Zr which differ only 0.609%. From the analysis of impurities obtained that nearly all the impurities that exist still meet the requirements for fuel unless the elements Fe, where elements of the existing Fe amounted to 382.912 g/g while the requirement of ≤ 250 mg / μ g. Testing conducted heat capacity in the temperature range 35 ° C to 437 ° C showed that the capacity were greatest powder 35ZrH_x U-with a value heat capacity of 0.13 J / g.°C. Meanwhile, test results obtained transition phase change that the U-45ZrH_x undergo two stages of reaction with phase change. It can be concluded when seen from the content of U and Zr can not be used for fuel, while the analysis of the content of impurities found that all the elements that are still eligible for the fuel unless the element Fe. For the analysis of the thermal properties are the heat capacity of the heat capacity of the highest values obtained in powder U-35ZrH_x, while the transition from the testing phase changes shows that the U-45ZrH_x undergo two stages of reaction with phase change. There is an effect of the composition on the thermal properties, where the higher the content of Zr, the value of uranium zirconium hydride heat capacity is lower.

Keywords: composition, thermal properties, fuels, U-ZrH_x.

PENDAHULUAN

Pengembangan bahan bakar reaktor riset dan daya tengah dilakukan di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) dalam rangka mendapatkan bahan bakar yang mempunyai densitas tinggi. Pengembangan bahan bakar reaktor daya ditujukan untuk memperoleh bahan bakar *prototype* elemen bakar PWR dan berkas bahan bakar HWR/Cirene sedangkan untuk reaktor riset memperoleh bahan bakar berdensitas tinggi dari paduan U-Mo, U-Zr dan U-N^[1]. Bahan bakar reaktor PWR dapat berupa bahan bakar keramik, logam, hidrida atau campuran antara keramik dengan logam. Penggunaan bahan bakar paduan U-Zr telah lama digunakan secara luas, seperti untuk bahan bakar reaktor TRIGA (*Training Isotop by General Atomic*) dalam bentuk U-ZrH_x, ABWR (*Advance Boiling Water Reactor*), FBR (*Fast Breeder Reactor*) dan EBR (*Experiment Breeder Reactor*) dimana bahan bakar tersebut dibuat dalam bentuk campuran antara U, Pu dan Zr^[2]. Penelitian pembuatan bahan bakar berbasis U-Zr telah dikembangkan di PTBBN sejak tahun 2007 yaitu dengan membuat bahan bakar U-Zr untuk jenis reaktor riset sedangkan paduan uranium hidrida (U-ZrH_x) dikembangkan untuk jenis reaktor daya PWR melalui kerjasama antara BATAN dengan Kementerian Riset dan Teknologi (Kem Ristek) dari tahun 2012 dalam program Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa (PKPP)^[3]. Dalam percobaan ini dilakukan pengembangan bahan bakar hidrida U-ZrH_x untuk reaktor PWR dengan pertimbangan-pertimbangan bahwa bahan bakar U-ZrH_x dapat menempatkan hidrogen sebagai moderator secara langsung di dalam bahan bakar yang memungkinkan reaktor dapat beroperasi pada temperatur yang relatif tinggi (hingga 750°C) serta mempunyai sifat termal lebih baik ^[4]. Penelitian yang dilakukan ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh kandungan unsur di dalam U-ZrH_x terhadap

kapasitas panas serta transisi perubahan fasa.

Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir, paduan U-ZrH_x tersebut harus mempunyai kemurnian yang tinggi dan sifat termal yang cukup baik. Hal ini disebabkan bila di dalam bahan bakar terdapat banyak unsur pengotor maka unsur tersebut dapat membentuk senyawa yang akan mengurangi unjuk kerja bahan bakar tersebut bila digunakan di dalam reaktor. Demikian pula bahan bakar harus mempunyai sifat termal (titik lebur dan kapasitas panas) yang cukup baik/tinggi agar transformasi panas di dalam bahan bakar dapat berlangsung lebih cepat. Beberapa teknik dapat digunakan untuk menentukan kandungan unsur di dalam suatu bahan, diantaranya dengan menggunakan teknik Spektroskopi Serapan Atom (SSA), *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer* (ICP-AES) Plasma 40, *X Ray Fluorescence* (XRF), dan UV-Vis. Teknik SSA dan ICP-AES biasanya digunakan untuk menentukan unsur pengotor di dalam suatu bahan, teknik UV-Vis untuk menentukan kadar uranium sedangkan *X-Ray Fluoresensi* (XRF) merupakan salah satu teknik analisis tidak merusak digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif^[5].

Kandungan unsur-unsur pengotor dalam bahan bakar nuklir perlu diketahui macam dan jumlahnya dan harus memenuhi persyaratan/spesifikasi yang ditentukan untuk bahan bakar, karena keberadaan unsur pengotor dapat mengganggu proses yang terjadi dalam reaktor. Unsur logam pengotor dapat berasal dari logam pemadu ataupun dari logam induknya/ yang dipadu. Untuk bahan bakar reaktor jenis PWR, persyaratan utama kandungan unsur-unsur pengotor dapat dilihat seperti tertera pada Tabel 1. Sebagai bahan bakar nuklir, logam U mempunyai sifat-sifat yang terbatas sehingga perlu ditambah dengan unsur

logam pepadu. Penambahan unsur pepadu ke dalam logam murni dengan tujuan antara lain sebagai berikut:^[3]

- Mendapatkan ukuran butir yang halus,
- Menaikkan sifat mekanik,
- Mempertahankan fasa beta atau gamma U pada temperatur operasi reaktor,
- Melarutkan U yang diperkaya,
- Menahan lapisan difusi U dengan material kelongsong,
- Membuat elemen bakar tipe dispersi secara teknik langsung atau membuat elemen bakar dispersi dengan teknik metalurgi serbuk
- Menaikkan mampu cor (*castability*) bahan bakar hasil cor.

Tabel 1. Spesifikasi kandungan unsur-unsur pengotor di dalam bahan bakar PWR^[6,7]

No.	Unsur	Kadar ((µg/g)	Nilai boron ekivalen
1.	Al	≤ 250,0	0,00012
2.	Ca	≤ 200,0	0,00016
3.	Cd	≤ 0,2	0,31044
4.	Co	≤ 100,0	0,00899
5.	Cr	≤ 200	0,00083
6.	Cu	≤ 250,0	0,00085
7.	Fe	≤ 250,0	0,00065
8.	Mg	≤ 50	0,00004
9.	Mn	≤ 250,0	0,0343
10.	Mo	≤ 250,0	0,00376
11.	Ni	≤ 200,0	0,00107
12.	Pb	≤ 250,0	0,000746
13.	Si	≤ 300,0	0,00086
14.	Sn	≤ 250,0	0,00027
15.	Zn	≤ 250,0	0,00024
16.	B	≤ 10,0	1,0000

Selain mempunyai kemurnian yang tinggi, bahan bakar harus mempunyai sifat termal (perubahan fasa, entalpi dan kapasitas panas) yang cukup baik. Sifat termal merupakan kunci utama untuk mendesain dan mengoptimalkan temperatur di dalam teras reaktor^[8]. Kapasitas panas menggambarkan sejumlah panas yang

diperlukan untuk mengubah temperatur bahan bakar. Dengan mengetahui kapasitas panas bahan bakar sebagai fungsi temperatur dan apabila nilai kapasitas panasnya tinggi dapat membantu stabilitas bahan bakar karena panas tidak terakumulasi di dalam bahan bakar sehingga dapat memperkecil kemungkinan kerusakan bahan bakar. Perubahan energi biasanya menyebabkan perubahan panas dalam suatu bahan yang disebut dengan panas reaksi. Dapat dipahami bahwa panas setara dengan kerja sehingga panas merupakan suatu bentuk energi. Dengan demikian dapat diartikan bahwa panas reaksi adalah perubahan energi yang menyertai suatu reaksi kimia atau fisis dalam suatu bahan. Ada dua jenis sifat yang terkait dengan reaksi kimia atau reaksi fisis dalam suatu bahan yaitu panas jenis dan kapasitas panas. Panas jenis adalah jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur 1°C terhadap 1 g zat. Panas jenis dinyatakan sebagai suatu besaran: $q = m \times c \times \Delta T$, dengan q adalah panas yang diserap atau yang dilepas (Joule atau kalori), m adalah massa (g), c adalah panas jenis (J/g°C), dan ΔT adalah perubahan temperatur (°C). Untuk kapasitas panas, secara umum dapat didefinisikan sebagai jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur bahan sebesar 1°C yang dinyatakan dengan rumus sebagai berikut : $q = C_p \times \Delta T$, dengan q adalah panas yang diserap atau dilepas (Joule atau kalori), C_p adalah kapasitas panas cal atau Joule/°C, dan ΔT adalah perubahan temperatur (°C). Dari rumusan diatas terlihat bahwa besaran kapasitas panas sangat dipengaruhi oleh jenis bahan dan temperatur^[9].

METODOLOGI

Serbuk U-ZrH_x dibuat dari ingot U-Zr (U-35Zr), (U-45Zr) dan (U-55Zr) dimana ingot U-Zr dibuat dari peleburan logam U dengan logam Zr. Pembuatan serbuk U-Zr dilakukan dengan cara hidriding di dalam

peralatan hidriding dengan cara dipanaskan pada temperatur 350°C sambil divakum hingga mencapai kevakuman 10^{-6} Psi kemudian dialiri gas hidrogen. Serbuk yang diperoleh dibagi menjadi dua, sebagian dianalisis untuk penentuan komposisi unsur logam dan sebagian yang lain untuk analisis termal. Penentuan komposisi unsur yang dilakukan adalah menentukan kandungan unsur pengotor, kandungan U dan Zr. Kandungan unsur logam pengotor, dilakukan dengan menggunakan teknik spektroskopi serapan atom (SSA) sedangkan kandungan unsur U menggunakan teknik spektroskopi UV-Vis. Sampel uji untuk analisis menggunakan UV-Vis harus dibuat dalam bentuk larutan/cair dengan cara melarutkan ke dalam larutan campuran larutan HNO₃ 3M dan HF 1M dengan perbandingan 1: 1. Sementara itu, untuk penentuan kapasitas panas digunakan teknik *Differential Scanning Calorimetry* (DSC) dan perubahan fasa serta temperatur lebur menggunakan *Differential Thermal Analysis* (DTA). Pada pengujian DSC, sampel berbentuk serbuk dengan berat 0,5g dimasukkan ke dalam cawan kecil kemudian dimasukkan ke dalam sampel *holder* DSC dan siap dioperasikan. Pengujian DSC dilakukan dari temperatur 35°C hingga 450°C, sedangkan pengujian dengan DTA dilakukan dari temperatur 30°C hingga 1000°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Komposisi Unsur

Hasil analisis komposisi unsur dengan menggunakan SSA dan UV-Vis ditampilkan dalam Tabel 2 dan 3. Tabel 2

yang memuat hasil analisis kandungan U dan Zr menunjukkan bahwa hampir semua sampel uji yang dianalisis mempunyai perbedaan yang cukup besar antara yang direncanakan dengan hasil uji kecuali hasil analisis U-45ZrH_x yang hanya berbeda 0,609%. Perbedaan yang cukup besar tersebut disebabkan oleh kekurangan sempurnaan/kehomogenan sampel pada proses pelarutan dan pemisahan larutan saat proses ekstraksi untuk memisahkan U dan Zr sehingga pada bagian tertentu terdapat unsur U atau Zr yang berlebihan yang pada akhirnya akan mempengaruhi hasil pengujian. Ketidak sempurnaan dapat terjadi pada saat pengadukan, pemisahan antara fasa organik dan fasa air atau dapat juga pada saat penambahan zat pelarut HNO₃ yang tidak tepat. Kesalahan dapat juga terjadi pada saat melakukan *running* peralatan uji penentuan U atau Zr (UV-Vis). Apabila dilihat dari hasil penimbangan bahan baku U dan Zr serta ingot yang terjadi dari hasil proses peleburan terlihat hampir semua sampel mempunyai prosen berat yang tidak berbeda jauh dengan prosen berat yang direncanakan seperti tertera pada Tabel 1, 2 dan 3 dalam Lampiran. Oleh karena itu selain proses *running* peralatan uji, pada saat proses penyiapan sampel harus benar-benar dilakukan dengan sangat hati-hati karena proses ini akan sangat menentukan hasil uji. Apabila dilihat dari kandungan U dan Zr yang ada sampel tersebut belum bisa digunakan untuk bahan bakar.

Tabel 2. Hasil analisis kandungan U dan Zr

No.	Unsur	Konsentrasi						Selisih antara yang direncanakan dengan hasil (%)		
		Direncanakan (%)			Hasil (%)					
		U-35ZrH _x	U-45ZrH _x	U-55ZrH _x	U-35ZrH _x	U-45ZrH _x	U-55ZrH _x	U-35ZrH _x	U-45ZrH _x	U-55ZrH _x
1.	U	65	55	45	56,310	50,269	41,417	13,369	8,60	7,962
2.	Zr	35	45	55	34,600	41,715	45,274	17,571	0.609	17,684

Tabel 3 yang memuat hasil analisis unsur pengotor yang ada menunjukkan bahwa pada serbuk U-35ZrH_x kandungan unsur Al hingga Zn adalah sebesar 0,042 µg/g (terendah) hingga 382,912 µg/g (tertinggi) masing-masing untuk Cd dan Fe, pada serbuk U-45ZrH_x sebesar 0,101 µg/g (terendah) hingga 227,136 µg/g (tertinggi) masing-masing untuk Cd dan Al, dan pada serbuk U-55ZrH_x sebesar 2,055 µg/g hingga 206,887 µg/g. Dari hasil pengujian tersebut terlihat hampir semua unsur yang ada di dalam serbuk masih memenuhi persyaratan untuk bahan bakar PWR kecuali unsur Fe seperti tertera dalam Tabel 1. Dalam Tabel 1 unsur Fe yang ada sebesar 382,19 µg/g sedangkan persyaratan yang diijinkan sebesar 250 µg/g. Keberadaan unsur Fe yang melebihi dari persyaratan bahan bakar tersebut disebabkan oleh *out diffusion* dari Fe yang terdapat di dalam wadah/ cawan pada saat proses peleburan masuk ke dalam ingot hasil peleburan sehingga Fe

menjadi besar. Fe yang ada di dalam wadah bisa berasal dari pengotor karena wadah digunakan untuk melebur bahan, atau dapat juga Fe yang terdapat di dalam wadah itu sendiri. Secara keseluruhan hasil pengujian bila dilihat dari tampang lintang serapan neutron mikroskopiknya, terlihat bahwa hampir semua unsur yang ada mempunyai tampang lintang mikroskopik yang rendah kecuali unsur Cd. Unsur Cd mempunyai tampang lintang neutron mikroskopik besar yakni sebesar 2520 barn^[1]. Keberadaan unsur yang mempunyai tampang lintang besar dan dalam jumlah yang besar dikhawatirkan akan menyerap neutron yang cukup besar sehingga operasi reaktor bisa terhenti. Namun, dilihat dari jumlah unsur Cd yang ada hanya sebesar 0,042 µg/g pada U-35ZrH_x dan 0,101 µg/g pada U-45ZrH_x dimana jumlah tersebut sangat kecil sehingga keberadaan unsur Cd tidak mempunyai pengaruh yang berarti terhadap operasi reaktor.

Tabel 3. Hasil analisis kandungan unsur pengotor di dalam serbuk U-ZrH_x

No.	Unsur pengotor	Sampel U-35ZrH _x (µg/g)	Sampel U-45ZrH _x (µg/g)	Sampel U-55ZrH _x (µg/g)
1.	Al	237,207	227,136	206,886
2.	Ca	29,665	38,273	43,007
3.	Cd	0,042	0,101	ttd
4.	Co	0,699	0,650	2,055
5.	Cr	80,487	84,471	58,098
6.	Cu	33,822	40,519	99,192
7.	Fe	382,912	119,572	186,339
8.	Mg	10,904	11,382	2,452
9.	Mn	7,926	8,805	32,946
10.	Mo	40,069	78,952	111,953
11.	Ni	116,797	139,434	108,049

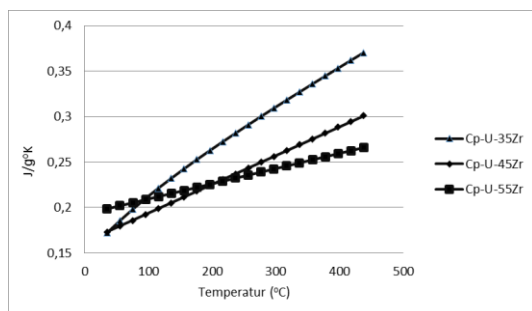
12.	Pb	ttd	ttd	ttd
13.	Si	214,722	170,102	206,887
14.	Sn	59,447	62,037	87,148
15.	Zn	19,181	36,227	4,171

b. Sifat Termal

1. Kapasitas panas

Pengujian sifat termal menggunakan peralatan DSC untuk mengetahui besar nilai kapasitas panas dari U-ZrH_x. Untuk memperoleh nilai kapasitas panas maka hasil *running* dari peralatan DSC dioleh menggunakan rumus *Multiple Regresssion* dengan pendekatan model Shomate^[10] yaitu $C_p = A+B.T+C/T^2$, dimana A, B dan C merupakan koefisien yang besarnya masing-masing adalah: untuk U-35ZrH_x nilai A,B, dan C berturut-turut: 0,094855913; 0,000399821; dan -4398,019429. Untuk U-45ZrH_x nilai A, B dan berturut-turut adalah 0,07465253; 0,000318441; dan 0; untuk U-55ZrH_x nilai A, B dan C 0,146893; 0,000167, dan 0. Hasil pengolahan data dari pengujian kapasitas panas ditampilkan dalam Gambar 1. Dalam pengujian tersebut percobaan dilakukan pada rentang temperatur antara 35°C hingga 437°C. Hasil percobaan yang telah diolah datanya memperlihatkan bahwa nilai kapasitas panas antara U-35ZrH_x, U-45ZrH_x dan U-55ZrH_x dalam rentang temperatur tersebut yang terbesar adalah pada U-35ZrH_x, diikuti oleh paduan U-45ZrH_x dan U-55ZrH_x. Dapat dikatakan bahwa semakin besar kandungan Zr, semakin rendah nilai kapsitas panasnya. Sebagai contoh paduan U-35ZrH_x, U-45ZrH_x dan U-55ZrH_x masing-masing mempunyai kapasitas panas sebesar 0,272323 J/g.°C; 0,2306 J/g.°C dan 0,228884 J/g.°C pada temperatur 216,58°C. Hasil tersebut berse-suaian dengan yang dilakukan oleh Mariea Gruia dkk^[11]. Hal ini disebabkan semakin besar kandungan Zr maka hidrida zirkonium (ZrH_x) yang terbentuk semakin besar pula.

Perlu diketahui bahwa hidrida zirkonium (ZrH_x) mempunyai ikatan kovalen. Dalam ikatan kovalen, ikatan yang terjadi akibat pemakaian bersama pasangan elektron oleh dua atom yang berikatan. Ikatan kovalen terbentuk di antara dua atom yang sama-sama ingin menangkap elektron (semi logam dan bukan logam). Oleh karena ikatan atom terjadi karena pemakaian pasangan elektron bersama maka elektron tidak mudah bergerak bebas seperti pada ikatan logam, sehingga kemampuan senyawa untuk memindahkan panas menjadi rendah^[12]. Untuk bahan bakar nuklir, diharapkan mempunyai kemampuan memindahkan panas dengan baik atau dengan lain kata mempunyai nilai kapasitas panas besar. Dengan melihat kandungan hidrida zirkonium (ZrH_x) yang ada dari ketiga paduan, maka bahan bakar padua U-35ZrH_x mempunyai kemampuan untuk memindah-kan panas yang paling baik. Apabila diamati pada setiap termogram paduan serbuk bahan bakar pada Gambar 1 terlihat bahwa dari temperatur pemanasan 35°C hingga 437°C ketiga paduan serbuk menunjukkan keadaan kecenderungan kenaikan besaran nilai kapasitas panas apabila tempratur pemanasan semakin tinggi, dan kenaikan tertinggi dialami oleh sebuk bahan bakar U-35ZrH_x. Hal ini disebabkan panas yang dibutuhkan untuk menikkan temperatur tiap satu derajat setiap satuan massa untuk melakukan vibrasi atom-atom semakin besar apabila temperatur pemanasan semakin tinggi, sedangkan pada kandungan Zr yang semakin tinggi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur satu derajat setiap satuan massa semakin rendah.

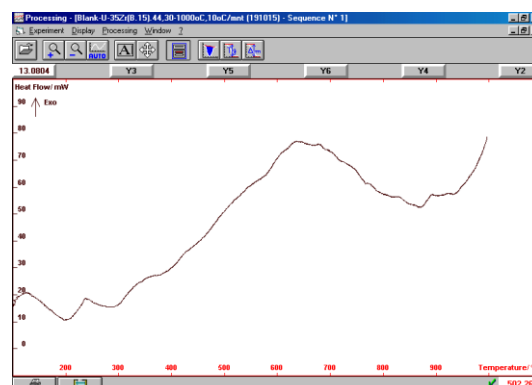


Gambar 1. Termogram hasil pengujian DSC

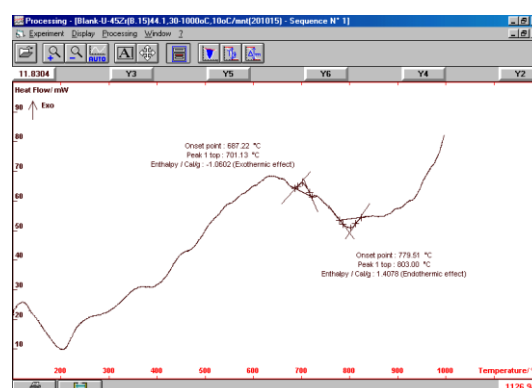
2. Transisi Perubahan Fasa

Hasil pengujian transisi perubahan fasa dan titik lebur dengan menggunakan peralatan DTA ditampilkan dalam Gambar 2 dan 3 serta Tabel 4. Gambar 2 dan Tabel 4 memperlihatkan keadaan bahwa untuk serbuk U-35ZrH_x tidak terjadi perubahan U-45ZrH_x reaksi pada saat dipanaskan. Untuk serbuk U-45ZrH_x mengalami dua tahapan reaksi yaitu pada tahapan pertama dari temperatur 687,22°C hingga 701,13°C terjadi reaksi eksotermik dengan melepaskan panas sebesar -1,060 cal/g dan terjadi perubahan fasa dari $\beta + \gamma_{Zr}$ menjadi $\gamma + \gamma_{Zr}$. Tahapan kedua, dari temperatur 779,51°C hingga 803,00°C terjadi reaksi endotermik dengan membutuhkan panas sebesar 1,408 cal/g disertai perubahan fasa dari $\gamma + \gamma_{Zr}$

menjadi γ_{Zr} . Hasil tersebut bersesuaian dengan diagram fasa U-Zr^[13].



Gambar 2. Termogram hasil pengujian DTA pada U-35ZrH_x.



Gambar 3. Termogram hasil pengujian DTA pada U-45Zr

Tabel 4. Hasil transisi perubahan fasa dan pengujian titik lebur

Sampel	Enthalphi (Cal/g)	Titik Lebur (°C)	Keterangan (reaksi)
U-35ZrH _x	-	-	Tidak terjadi perubahan reaksi
U-45ZrH _x	-1,060	701,13	Reaksi eksotermik
	1,408	803,00	Reaksi endotermik

SIMPULAN

Hasil percobaan analisis untuk menentukan kandungan U dan Zr di dalam serbuk U-35ZrH_x, 35ZrH_x, dan U-35ZrH_x mempunyai perbedaan yang cukup besar, sedangkan dalam analisis kandungan unsur pengotor diperoleh bahwa hampir semua unsur yang ada di dalam paduan serbuk

masih memenuhi persyaratan untuk bahan bakar terkecuali unsur Fe. Dengan demikian apabila dilihat dari kandungan unsur U dan Zr belum bisa digunakan untuk bahan bakar. Unsur Fe yang ada sebesar 382,912 µg/g melebihi persyaratan yang hanya 250 µg/g. Dilihat dari kandungan U dan Zr, serbuk paduan tersebut belum bisa digunakan untuk bahan bakar nuklir. Sementara itu hasil analisis sifat termal dalam hal ini

kapasitas panas diperoleh bahwa semakin tinggi kandungan Zr maka nilai kapasitas panas menjadi semakin rendah, sedangkan dari hasil pengukuran transisi perubahan fasa diperoleh serbuk U-45ZrH_x mengalami dua tahapan reaksi yaitu reaksi eksotermik disertai perubahan fasa dan reaksi endotermik disertai perubahan fasa. Terdapat pengaruh antara komposisi dengan sifat termalnya, dimana semakin tinggi kandungan Zr maka nilai kapasitas panas hidrida uranium zirkonium semakin rendah.

Perlu dilakukan percobaan ulang untuk memastikan komposisi U dan Zr sehingga diperoleh hasil yang tepat sesuai yang direncanakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada Ibu Asminar ibu Sutri Indaryati dan bapak Yatno D.A yang telah membantu melakukan penelitian hingga selesai. Juga tidak lupa penulis menyampaikan terima kasih kepada Ibu Ir. Ratih Langenati MT, selaku Kepala BFBBN yang telah mendorong kami sehingga penulisan makalah ini dapat selesai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Masrukan K, (2011), Komparasi Hasil Analisis Komposisi Kimia Di Dalam Paduan U-Zr-Nb Dengan Menggunakan Teknik XRF dan AAS, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania"*, Vol 17 No 3, Oktober 2011. ISSN No. 0852-4777. Akreditasi No. 265/AU1/P2MBI/05/2010. Hal. 144-145.
- [2] Baldev Raj, S L Mannan, Prvasudeva Rao And M D Mathew (2012), *Development Of Fuels And Structural Materials For Fast Breeder Reactors*, Journal of Sadhana, Vol. 27, Part 5, October 2012, page 531.
- [3] Masrukan, Tri Yulianto, dan Sungkono, (2010), Pengaruh Unsur Nb Pada Bahan Bakar Paduan U-Zr-Nb Terhadap Densitas, Kekerasan Dan Mikrostruktur, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar "Urania"*, Vol. 16 No. 3, Juli 2010. ISSN 0852-4777. Akreditasi No. 595/AU3/P2MI-LIPI/03/2015. Hal. 116.
- [4] Masrukan K, M Husna Al Hasa, Anwar Muchsin, (2014), Pembuatan *Green Pellet* U-ZrH_x untuk bahan bakar PWR, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania"*. Vol 20 No 1, Febuari 2014. Halaman 23-24. ISSN No. 0852-4777. Akred. No. 265/AU1/P2MBI/05/2010.
- [5] Rosika, Dian A, Agus J, (2010), Validasi Metoda XRF (*X-Ray Fluorescence*) Secara Tunggal Dan Simultan Untuk Analisis Unsur Mg, Mn Dan Fe Dalam Paduan Aluminum, *Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta*, 18 November 2010. ISSN 1978-0176. Hal. 273-277.
- [6] ASTM C753-04, (2009), Standard Specification for Nuclear Grade, *Sinterable Uranium Dioxide Powder*, volume 12.01 Nuclear Energy (I).
- [7] Sutri I, Yanlianastuti (2011), Analisis Serbuk U-Mo Untuk Pembuatan Pelat Elemen Bakar Dengan Tingkat Muat Tinggi, *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII*, Yogyakarta, 16 November 2011. ISSN No. 1978- 0176. Halaman 563.
- [8] Supardjo, Agoeng Kadarjono, Boybul, Aslina Br. Ginting, (2011), Pengaruh unsur Zr Terhadap Perubahan Sifat Termal Bahan Bakar Dispersi Paduan U-7Mo-xZr/Al, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir "Urania"*, Volume 22 No. 1, Februari 2016, ISSN 0852-4777. Akreditasi No. 595/AU3/P2MI-LIPI/03/2015. Hal. 16.
- [9] Aslina Br.Ginting, Supardjo, Sutri Indaryati, (2007), Pengaruh Porositas *Meat* Bahan Bakar Terhadap Kapasitas Panas Pelat Elemen Bakar U₃Si₂-Al,

-
- Prosiding PPI-PDIPTN 2007, Pustek Akselerator dan Proses Bahan-BATAN, Yogyakarta, 10 Juli 2007. ISSN0216-3128. Halaman 130.
- [10] Setiawan J, (2015). Sintesis Komposit Matriks Keramik Silikon Karbida Berbasis Polycarbosilane dan Karakteristik Panasnya Sebagai Bahan Penukar Kalor." Disertasi program S3, Universitas Indonesia, 2015. Halaman 41.
- [11] Mariea Gruia, Ion Ciucă², Marioara Abrudeanu, Tiberiu Meleg, Lulia Dumitrescu, (2013), *Evaluation of Physical Stability Of The U-ZrH System*, Journal U.P.B. Sci. Bull., Series B, Vol. 75, Iss. 1. ISSN 1454-2331.
- [12] Yu Sheng Chen, Adam I. Stasha, A. Alan Pinkerton, (2007), *Chemical Bonding And Intermolecular Interactions In Energetic Materials: 1,3,4-trinitro-7,8-diazapentalene*, Journal Acta Crystallographica, ISSN No. 0108-7681. Page 309.
- [13] Ivanov, Badaeva, Sofronova, (1983), *Phase Diagrams of Uranium Alloys*, Amerind Publishing Co.PVT.LTD, New Delhi.

LAMPIRAN

Tabel 1. Data berat logam U, Zr dan ingot U-35Zr

No	U _{depleksi} (g)	Zr	% Zr	U %	Ingot U-35Zr (g)
1.	12,1585	6,50	35,00	65,00	18,6435
2.	12,7408	6,83	34,90	65,10	19,5659
3.	12,8993	6,85	34,54	65,46	19,7042
4.	12,3663	6,58	34,70	65,30	18,9425
5.	11,5278	6,15	34,77	65,23	17,6737
6.	11,1595	5,89	33,00	67,00	17,0533
7.	9,6805	5,89	39,64	60,36	14,8668
	Rat-rata		35,27	64,73	

Tabel 2. Data berat logam U, Zr dan ingot U-45Zr

No	U _{depleksi} (g)	Zr	% Zr	U %	Ingot U-45Zr (g)
1.	10,4133	8,43	44,74	55,26	18,8437
2.	9,9278	7,83	44,11	55,89	17,7621
3.	9,5023	7,74	44,88	55,12	17,2343
4.	10,2558	8,34	44,86	55,14	18,5906
5.	9,7957	7,90	44,64	55,36	17,6945
6.	10,0509	8,16	44,81	55,19	18,2105
7.	10,3227	8,25	44,43	55,57	18,5762
	Rat-rata		44,64	55,36	

Tabel 3. Data berat logam U, Zr dan ingot U-55Zr

No	U _{depleksi} (g)	Zr	% Zr	U %	Ingot U-55Zr (g)
1.	10,4147	12,69	54,92	45,08	23,1017
2.	10,5914	12,81	54,73	45,27	23,3959
3.	10,0407	12,23	54,91	45,09	22,2665
4.	7,5972	9,24	54,87	45,13	16,8341
5.	6,6807	8,22	55,15	44,85	14,8961
6.	6,1529	7,48	54,87	45,13	13,6342
7.	6,3221	7,70	54,90	45,10	14,0182
	Rat-rata		54,91	45,09	

